

证 明

本证明之附件是向本局提交的下列专利申请副本

申 请 日: 2004. 01. 17

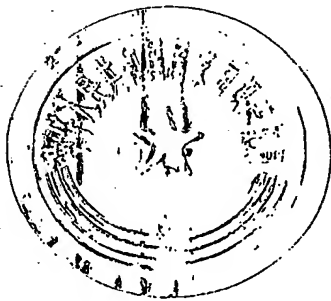
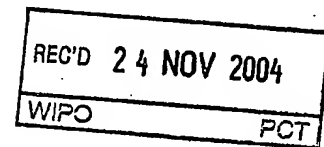
申 请 号: 2004100158971

申 请 类 别: 发明

发明创造名称: 一种水冷的金属连铸结晶器

申 请 人: 宝山钢铁股份有限公司

发明人或设计人: 徐荣军、刘晓、李永全、崔健



**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

中华人民共和国
国家知识产权局局长

王景川

2004 年 10 月 22 日

权 利 要 求 书

1、一种水冷的金属连铸结晶器，由左右对称布置的两块窄面水冷铜板和前后对称布置的两块宽面水冷铜板组成；所述连铸结晶器的内腔上部为浇注区，下部为形腔区，其浇注区自上而下沿浇注方向呈漏斗形逐渐收缩成形腔区的形状，即铸坯的形状；窄面水冷铜板的内腔面为光滑平面；宽面水冷铜板的内腔面在所述浇注区部分为曲面；在所述形腔区部分为平面，所述的宽面水冷铜板的内腔面的曲面部分和平面部分为连续光滑表面；该连铸结晶器的顶面中心点 O_1 为中心轴线与浇注区顶面的交点；

其特征 在于：所述的宽面水冷铜板的内腔面的曲面部分是由这样的一些点 P 组成的，该点 P 是两条曲线，曲线 1 和曲线 2 的交点，

其中曲线 1 位于沿该连铸结晶器中心轴线的不同高度的水平横截面上，左右对称，该曲线的最高点离中心轴线的距离为 $H+h$ ，该曲线的最低点离中心轴线的距离为 h ；曲线在靠近所述的左右布置的窄面水冷铜板的两端为直线段，该直线段长度为 l_0 ，中间为曲线段，该曲线段的宽度为 L ，其两端点分别为点 p 和点 q ；

曲线 2 位于平行于窄面水冷铜板的纵截面上，其上部为一倾斜直线段、中间为一曲线段，他们的交点为点 m ，斜率为 k ，最下面为平行于中心轴线的垂直直线段，该直线段长度为 d_0 ，其与前述曲线段的交点为点 n ，在所述连铸结晶器中，曲线 2 的总高度为 $D+d_0$ ，点 m 与点 n 之间的距离以在中心轴线上的投影长度计算则为 d ；

其中，曲线 1 满足方程 $f(x)=\sum_{i=0}^n a_i x^i$ ，其中 n 最小值为 6， $a_i=f_i(H, L)$ ； f_i 满足 p, q 两点处二阶导数连续；

其中曲线 2 满足方程 $f(z)=\sum_{j=0}^m b_j z^j$ ，其中 m 最小值为 5， $b_j=f_j(D, d, k)$ ； f_j 满足 m, n 两点处二阶导数连续。

2、如权利要求 1 所述的水冷的金属连铸结晶器，其特征在于，所述 l_0 为 0。

3、如权利要求 2 所述的水冷的金属连铸结晶器，其特征在于，所述 d_0 为 0。

4、如权利要求 1 至 3 中任一权利要求所述的水冷的金属连铸结晶器，其

特征在于，连铸结晶器水平方向横截面轮廓曲线的曲线部分方程为： $f(x)=a_0+a_1x+a_2x^2+a_3x^3+a_4x^4+a_5x^5+a_6x^6$ 。

5、如权利要求 1 至 3 中任一权利要求所述的水冷的金属连铸结晶器，其特征
 5 特征在于，连铸结晶器垂直方向纵截面轮廓曲线的曲线部分方程为： $f(z)=b_0+b_1z+b_2z^2+b_3z^3+b_4z^4+b_5z^5$ 。

6、如权利要求 1 至 3 中任一权利要求所述的水冷的金属连铸结晶器，其特征
 特征在于，p，q 两点处三阶以上导数连续。

7、如权利要求 1 至 3 中任一权利要求所述的水冷的金属连铸结晶器，其特征
 特征在于，m，n 两点处三阶以上导数连续。

10 8、如权利要求 1 所述的水冷的金属连铸结晶器，其特征
 在于，连铸结晶器上口水平横截面轮廓曲线长度与曲线两端相连的长度之比为 1.02~1.15 之间，且沿连铸结晶器高度方向水平横截面轮廓曲线长度变化为曲线形的不均匀收缩。

15 9、如权利要求 1 所述的水冷的金属连铸结晶器，其特征
 在于，每个宽面水冷铜板向上张开向外展宽的倾斜面的最大倾斜角小于 12° 。

10、如权利要求 1 所述的水冷的金属连铸结晶器，其特征
 在于，两块窄面水冷铜板上口宽度与下口宽度之比为 1.0~1.05。

一种水冷的金属连铸结晶器

5 技术领域

本发明涉及一种水冷的金属连铸结晶器，具体地说，涉及适用于金属薄板坯连续铸造的水冷的金属连铸结晶器。

背景技术

10 薄板坯连铸结晶器的铜板曲面部分的形状尺寸主要由铸坯的横断面、浇注水口形状尺寸和浇注水口的浸入深度确定。

由于薄板坯连铸结晶器宽面铜板形状为曲面，所以在浇注方向上不仅发生了铸坯横截面的缩小，同时也发生了铸坯横截面的变形。因此与常见的平行板连铸结晶器不同的是，坯壳在经过连铸结晶器铜板曲面部分时被迫承受附加变形，这可能造成铸坯缺陷。

众所周知，与平板式连铸结晶器其铸坯收缩通过连铸结晶器窄面铜板的倾斜或称调整锥度得到补偿有所不同，在由带有曲面形状的铜板组成的连铸结晶器中，沿浇注方向的收缩曲线是非常重要的。可以通过设计连铸结晶器铜板曲面的水平或垂直轮廓进行分配铸坯所承受的变形以抑制铸坯缺陷的形成。

20 连铸结晶器内腔的横剖面轮廓曲线的周长在浇注方向的收缩率必须等于或稍小于坯壳的凝固收缩率。如果其大于坯壳的凝固收缩率，则坯壳必须承受附加变形，也无法保证坯壳和连铸结晶器壁之间的均匀接触，出现了坯壳温度过高或过低的区域，坯壳出现裂纹缺陷的可能性增加，或者使拉坯阻力过大，甚至把坯壳拉断、导致连铸结晶器过度的不均匀磨损，降低连铸结晶器铜板的使用寿命。如果其远小于坯壳的凝固收缩率，在连铸结晶器内壁与坯壳之间形成过大的间隙，增加传热热阻，使本已凝固的坯壳受再加热而熔化，从而因热应力而引起缺陷。

30 中国专利 CN95106714.1 及欧洲专利 EP0552501 及德国专利 DE3907351A1 公开几种连续铸造薄板坯用连铸结晶器，宽面水冷铜板的上部分为倾斜的光滑曲面，下部分为垂直平面；连铸结晶器的上部分为漏斗形浇注区，下半部分为

漏斗形腔区。宽面的水平横截面曲线由彼此相切的三段内凹外凸弧线组成(三段圆弧外侧有与之相切的直线段或没有);三段弧线中各点的曲率半径自上而下逐渐增大。

中国专利 CN98126914.1 与 CN98125062.9 公开了几种连续铸造薄板坯用连铸结晶器的浇口形状,主要考虑了在连铸结晶器宽面铜板内腔水平轮廓预定的情况下,通过设计垂直轮廓改善连铸结晶器在浇注方向上的收缩曲线。规定自连铸结晶器上口至连铸结晶器下口平行段可以是凸或凹、凸转换的曲线,该曲线由圆弧形曲线或三角形曲线(如正弦曲线)构成。

如上所述的薄板坯连铸结晶器,尽管分别考虑了连铸结晶器内腔水平方向和垂直方向轮廓曲线的光滑,但仅在一阶导数情况下连续(即曲线与曲线相切、曲线与直线相切),这些切点处仍然为奇异点即应力集中点。坯壳在连铸结晶器中凝固收缩及向下运动时,仍不可避免的受到应力,致使坯壳产生裂纹。

现有的漏斗型连铸结晶器存在以下问题:

1. 薄板坯的水平方向和垂直方向都存在着应力。
2. 因连铸结晶器内腔形状对凝固坯壳产生应力而产生坯壳表面裂纹缺陷,裂纹缺陷出现率高达 2% (纵裂及横裂)。
3. 由于薄板坯的水平方向和垂直方向都存在应力,致使连铸钢种受到限制,如不能生产包晶钢。
4. 连铸结晶器局部不均匀磨损,降低其使用寿命。
5. 较高的连铸结晶器使用成本。

发明内容

本发明的目的在于提供一种水冷的金属连铸结晶器,以克服凝固坯壳收缩不够均匀、应力集中的技术问题,使之达到铸坯表面质量好,消除铸坯表面缺陷、减少连铸结晶器非均匀磨损、延长连铸结晶器的使用寿命。

针对上述目的,本发明的技术方案如下:

一种水冷的金属连铸结晶器,由左右对称布置的两块窄面水冷铜板和前后对称布置的两块宽面水冷铜板组成;所述连铸结晶器的内腔上部为浇注区,下部为形腔区,其浇注区自上而下沿浇注方向呈漏斗形逐渐收缩成形腔区的形状,即铸坯的形状;窄面水冷铜板的内腔面为光滑平面;宽面水冷铜板的内腔

面在所述浇注区部分为曲面；在所述形腔区部分为平面，所述的宽面水冷铜板的内腔面的曲面部分和平面部分为连续光滑表面；该连铸结晶器的顶面中心点 O_1 (参阅图 1) 为中心轴线与浇注区顶面的交点；所述的宽面水冷铜板的内腔面的曲面部分是由这样的一些点 P 组成的，该点 P 是两条曲线，曲线 1 和曲线 2 的交点，其中曲线 1 位于沿该连铸结晶器中心轴线的不同高度的水平横截面上，左右对称，该曲线的最高点离中心轴线的距离为 $H+h$ ，该曲线的最低点离中心轴线的距离为 h ；曲线在靠近所述的左右布置的窄面水冷铜板的两端为直线段，该直线段长度为 l_0 ，中间为曲线段，该曲线段的宽度为 L ，其两端点分别为点 p 和点 q ；曲线 2 位于平行于窄面水冷铜板的纵截面上，其上部为一倾斜直线段、中间为一曲线段，他们的交点为点 m ，斜率为 k ，最下面为平行于中心轴线的垂直直线段，该直线段长度为 d_0 ，其与前述曲线段的交点为点 n ，在所述连铸结晶器中，曲线 2 的总高度为 $D+d_0$ ，点 m 与点 n 之间的距离以在中心轴线上的投影长度计算则为 d ；当选用图 3 中的 O 为坐标原点时，其中，曲线 1 满足方程 $f(x)=\sum_{i=0}^n a_i x^i$ ，其中 n 最小值为 6， $a_i=f_i(H, L)$ ； f_i 满足 p, q 两点处二阶导数连续；其中曲线 2 满足方程 $f(z)=\sum_{j=0}^m b_j z^j$ ，其中 m 最小值为 5， $b_j=f_j(D, d, k)$ ； f_j 满足 m, n 两点处二阶导数连续。

与现有技术相比，本发明有如下优点：

1、由于连铸结晶器宽面铜板内腔曲面形状包括平面部分和曲面部分在任意一点的曲率连续变化，因此避免了坯壳在运动变形和收缩过程中产生局部的应力集中。

2、由于每个宽面水冷铜板上部漏斗部分内腔沿连铸结晶器不同高度的水平横截面轮廓曲线总长度自上而下方向逐渐减少，且与坯壳的凝固收缩保持一致，使凝固坯壳的变形阻力更小。

3、该连铸结晶器用于金属连铸时坯壳不容易出现裂纹。

4、该连铸结晶器用于金属连铸时连铸结晶器铜板不容易产生不均匀磨损，可延长连铸结晶器铜板使用寿命。

5、该连铸结晶器不仅适用于浇注一般的钢材，还适合于浇注凝固过程中收缩过渡的包晶型钢和奥氏体不锈钢。

附图说明

20

图 1 为金属连铸结晶器俯视图;

图 2 为金属连铸结晶器侧视图;

图 3 为本发明金属连铸结晶器宽面铜板内腔曲面形成网格图;

5 图 4 为本发明金属连铸结晶器宽面铜板内腔沿水平方向曲线图 (任一截面);

图 5 为本发明金属连铸结晶器宽面铜板内腔沿水平方向曲线 (对应于图 4 中曲线) 一阶导数曲线图。其一阶导数在整个图形上连续变化;

10 图 6 为本发明金属连铸结晶器宽面铜板内腔沿水平方向曲线 (对应于图 4 中曲线) 二阶导数曲线图。其二阶导数在整个图形上连续变化;

图 7 为本发明金属连铸结晶器宽面铜板内腔沿水平方向曲线 (对应于图 4 中曲线) 曲率变化曲线图。其曲率在整个图形上连续变化;

图 8 为本发明金属连铸结晶器宽面铜板内腔沿垂直方向曲线图 (任一截面);

15 图 9 为本发明金属连铸结晶器宽面铜板内腔沿垂直方向曲线 (对应于附图 8 中曲线) 一阶导数曲线图; 其一阶导数在整个图形上连续变化;

图 10 为本发明金属连铸结晶器宽面铜板内腔沿垂直方向曲线 (对应于图 8 中曲线) 二阶导数曲线图; 其二阶导数在整个图形上连续变化;

20 图 11 为本发明金属连铸结晶器宽面铜板内腔沿垂直方向曲线 (对应于图 8 中曲线) 曲率变化曲线图; 其曲率在整个图形上连续变化;

图 12 为本发明金属连铸结晶器内腔轮廓曲线 (沿连铸结晶器不同高度) 弧线与直线段的差值;

图 13 现有连铸结晶器与连铸结晶器上口曲线对比 (水平方向);

25 图 14 现有连铸结晶器与连铸结晶器上口曲线一阶导数对比 (水平方向);

图 15 现有连铸结晶器与连铸结晶器上口曲线二阶导数对比 (水平方向);

图 16 现有连铸结晶器与连铸结晶器上口曲线曲率对比 (水平方向);

图 17 现有连铸结晶器与连铸结晶器中心曲线对比 (垂直方向);

图 18 现有连铸结晶器与连铸结晶器中心曲线一阶导数对比 (垂直方向);

30 图 19 现有连铸结晶器与连铸结晶器中心曲线二阶导数对比 (垂直方向);

图 20 现有连铸结晶器与连铸结晶器中心曲线曲率对比（垂直方向）；

图 21 连铸结晶器水平截面坐标系第一图；

图 22 连铸结晶器垂直截面坐标系第一图；

图 23 连铸结晶器水平截面坐标系第二图。

5

图中标号和符号说明

1、2- 宽面水冷铜板

3、4- 窄面水冷铜板

5- 浇注区

10 6- 浸入式水口

7- 下部形腔区

θ - 倾斜曲面最大倾角

具体实施方式

15 为了更好地理解本发明的方法、特点及效果，现通过以下较佳实施例并配合附图进行说明。

参阅图 1 和图 2，本发明金属连铸结晶器由两块彼此相对的宽面水冷铜板 1、2 和两块窄面水冷铜板 3、4 组成；两块宽面水冷铜板 1、2 分上、下两部分：下部分为相互平行并相隔一定距离的垂直平面（即宽面水冷铜板 1、2 下部分的平面部分），该垂直平面也可没有；上部分为向上敞开向外展宽的倾斜曲面，倾斜曲面最大倾角 θ 小于 12° 。两块窄面水冷铜板 3、4 为彼此相对放置的平面，由此组成连铸结晶器上部漏斗形浇注区 5 和下部形腔区 7；还有浸入式水口 6。

25 每个宽面水冷铜板 1、2 上部漏斗部分内腔沿连铸结晶器不同高度的水平横截面轮廓曲线，由中间的一段曲线段和与曲线段两端相连的直线段构成，曲线段两端相连的直线段也可以没有。在上述整个水平横截面轮廓曲线上（包括直线段部分）该条曲线的一阶导数连续变化、二阶导数连续变化、曲率连续变化。每个宽面水冷铜板 1、2 中部漏斗部分内腔沿连铸结晶器不同水平位置的垂直横截面轮廓曲线，由中间的一段曲线段和与曲线段上端相连的倾斜直线段和下端相连的垂直直线段构成，连铸结晶器下部的垂直直线段也可以没有。在

30

上述整个垂直横截面轮廓曲线上(包括直线段部分)该条曲线的一阶导数连续变化、二阶导数连续变化、曲率连续变化。即整个连铸结晶器宽面铜板 1、2 内腔曲面形状包括曲面部分和平面部分在任意一点曲率连续变化。每个宽面水冷铜板 1、2 上部漏斗部分内腔沿连铸结晶器不同高度的水平横截面轮廓曲线总长度自上而下方向逐渐减少, 且与坯壳的凝固收缩保持一致。

下面详细说明本发明的连铸结晶器宽面水冷铜板表面的形状及确定方法。

参阅图 3, $abcgdef$ 所包围的区域为连铸结晶器宽面铜板的曲面部分, 其余部分为平面部分; $acgf$ 所包围的区域为连铸结晶器宽面铜板的沿连铸结晶器垂直方向用直线构成的曲面部分; $gdef$ 所包围的区域为连铸结晶器宽面铜板的沿连铸结晶器垂直方向用曲线构成的曲面部分。H 为连铸结晶器最大开口高度, L 为连铸结晶器开口宽度, D 为漏斗曲面沿连铸结晶器垂直方向结束时的最大高度, $D-d$ 为沿连铸结晶器垂直方向用直线构成漏斗曲面的高度, $D+d_0$ 为连铸结晶器总高度, B 为连铸结晶器的总宽度。为了制造工艺的方便, 在确定宽面水冷铜板的表面形状时, 选定图中 de 的中点 O 作为坐标原点。要求解该三维模型函数, 可将其转化为二维函数求解, 然后进行叠加处理。

连铸结晶器水平方向轮廓曲线, 建立如图 4 和图 21 所示的坐标系。每个宽面水冷铜板上部漏斗部分内腔沿连铸结晶器不同高度的水平横截面轮廓曲线, 由中间的一段曲线段和与曲线段两端相连的直线段构成。坐标原点取图中位置, 即 x 方向取曲线段沿 x 方向开口的 1/2 位置的垂线与 y 方向取曲线段两端相连直线的交点为坐标原点。该方程所受的约束条件为, 曲线与直线相连的两端(p 与 q 点), 其 y 方向取值与直线段相同, 且其一阶导数与二阶导数与直线段相同, 曲线段沿 x 方向开口的 1/2 处, y 方向取得最大值 H, 且一阶导数为 0; 如工艺上要求沿 x 方向开口跨度 L 为 900, y 方向取得最大值 H 为 50。根据如上约束条件, 可得到连铸结晶器上口水平方向轮廓曲线公式 $y = -6.02 \times 10^{-15}x^6 + 3.66 \times 10^{-9}x^4 - 7.41 \times 10^{-4}x^2 + 50$ 的形式。从而使每个宽面水冷铜板上部漏斗部分内腔沿连铸结晶器不同高度的水平横截面轮廓曲线(包括直线部分), 其曲率连续变化, 即在曲线与直线相连点的曲率相等。

建立如图 8 和图 22 所示的坐标系, 每个宽面水冷铜板中部漏斗部分内腔沿连铸结晶器不同水平位置的垂直横截面轮廓曲线, 由中间的一段曲线段和与曲线段上端相连的倾斜直线段和下端相连的垂直直线段构成。坐标原点取图中

13
276

位置,即以曲线段的下端为原点。该方程所受的约束条件为,曲线与直线相连的两端(m与n),其y方向取值与直线段相同,且其一阶导数与二阶导数与直线段相同。漏斗总深度D取值700mm,漏斗直线段结束时的深度d取值100mm,假定直线段结束时漏斗沿y方向高度为kf(x),连铸结晶器上沿y方向高度为f(x),k取值0.12,如f(x)取连铸结晶器上沿曲线中心的最大值50mm,得到连铸结晶器漏斗部分中心部位垂直方向曲线段的公式为 $y=1.40 \times 10^{-9}z^5-3.87 \times 10^{-7}z^4+3.07 \times 10^{-5}z^3$ 的形式及与曲线段上端相连的倾斜直线段的方程为 $y=7.33 \times 10^{-2}z-1.33$ 。从而使每个宽面水冷铜板中部漏斗部分内腔沿连铸结晶器不同水平位置的垂直横截面轮廓曲线(包括直线部分),其曲率连续变化。

如果建立不同的坐标系,上述求解最终得出的函数形式会发生变化。但该函数形式仍然符合如下函数关系,即 $y=a_0+a_1x+a_2x^2+a_3x^3+a_4x^4+a_5x^5+a_6x^6$, $y=b_0+b_1z+b_2z^2+b_3z^3+b_4z^4+b_5z^5$ 。现仅以每个宽面水冷铜板中部漏斗部分内腔沿连铸结晶器不同水平的横截面轮廓曲线来建立不同的坐标系求解为例,进行说明。参阅图23建立坐标系,y方向最大值H为50,沿x方向开口跨度L为900。根据曲线与两直线交点(p及q点)的二阶导数连续的约束条件,得到公式 $y=-6.02 \times 10^{-15}x^6+1.63 \times 10^{-11}x^5-1.46 \times 10^{-8}x^4+4.39 \times 10^{-6}x^3$ 。

通过上述详细说明以及结合附图进行的对比可知,轮廓曲线如果满足了二阶导数连续这个条件,则连铸结晶器的性能有很大提高。同样,还可以要求轮廓曲线满足三阶导数、四阶导数甚至更高阶导数连续,从而可以确定更高阶次的多项式作为轮廓曲线中曲线部分的方程。现仅以每个宽面水冷铜板中部漏斗部分内腔沿连铸结晶器不同水平的横截面轮廓曲线与直线相连处(p及q点)满足三阶导数连续为例,进行说明。参阅图4和图21建立坐标系,y方向最大值H为50,沿x方向开口跨度L为900。根据曲线与两直线交点(p及q点)处的三阶导数连续的约束条件,得到公式 $y=2.97 \times 10^{-20}x^8-2.41 \times 10^{-14}x^6+7.32 \times 10^{-9}x^4-9.88 \times 10^{-4}x^2+50$ 。

参阅图4,图中H1~H4为连铸结晶器不同高度情况下的开口度。该图形为由中间的一段曲线段和两端与之相连的直线段构成,曲线两端相连的直线段也可以没有。若直线段没有,曲线确定方法仍然可以按照上述方法,只要虚拟两端的直线段就可以了。

参阅图5,本发明的金属连铸结晶器宽面铜板内腔沿水平方向曲线(对应

于图 4 中曲线) 一阶导数曲线在整个图形上连续变化。

参阅图 6, 本发明的金属连铸结晶器宽面铜板内腔沿水平方向曲线 (对应于图 4 中曲线) 二阶导数曲线在整个图形上连续变化。

参阅图 7, 本发明的金属连铸结晶器宽面铜板内腔沿水平方向曲线 (对应于图 4 中曲线) 的曲率在整个图形上连续变化。

参阅图 8, 图中 L1~L4 为连铸结晶器水平方向不同的位置。该图形为由中间的一段曲线段和与曲线段上端相连的倾斜直线段和下端相连的垂直直线段构成, 与曲线下端相连的连铸结晶器下部的垂直直线段也可以没有。若该直线段没有, 曲线确定方法仍然可以按照上述方法, 只要虚拟这端的垂直直线段就可以了。

参阅图 9, 本发明的金属连铸结晶器宽面铜板内腔沿垂直方向曲线 (对应于图 8 中曲线) 一阶导数在整个图形上连续变化。

参阅图 10, 本发明的金属连铸结晶器宽面铜板内腔沿垂直方向曲线 (对应于图 8 中曲线) 二阶导数在整个图形上连续变化。

参阅图 11, 本发明的金属连铸结晶器宽面铜板内腔沿垂直方向曲线 (对应于图 8 中曲线) 曲率变化在整个图形上连续变化。

参阅图 12, 本发明的金属连铸结晶器内腔轮廓曲线 (沿连铸结晶器不同高度) 弧线与直线段的差值, 宽面弧线总长度自上而下逐渐减少, 且沿连铸结晶器高度方向水平横截面轮廓曲线长度变化为曲线形的不均匀收缩, 与坯壳的凝固收缩保持一致。

再根据图 13, 现有连铸结晶器与连铸结晶器上口曲线水平方向的对比, 图 14, 现有连铸结晶器与连铸结晶器上口曲线水平方向一阶导数对比, 图 15, 现有连铸结晶器与连铸结晶器上口曲线水平方向二阶导数对比, 图 16, 现有连铸结晶器与连铸结晶器上口曲线水平方向曲率对比; 以及图 17, 现有连铸结晶器与连铸结晶器中心曲线垂直方向对比, 图 18, 现有连铸结晶器与连铸结晶器中心曲线垂直方向一阶导数对比, 图 19, 现有连铸结晶器与连铸结晶器中心曲线垂直方向二阶导数对比, 图 20; 现有连铸结晶器与连铸结晶器中心曲线垂直方向曲率对比后, 可以看出, 现有连铸结晶器内腔曲面曲线仅一阶导数连续, 而本发明的连铸结晶器内腔曲面曲线一阶导数、二阶导数都连续, 这就解决了如前所述的技术问题。

15
优选地，连铸结晶器上口水平横截面轮廓曲线长度与曲线两端相连的长度之比为 1.02~1.15 之间。且沿连铸结晶器高度方向水平横截面轮廓曲线长度变化为曲线形的不均匀收缩。

优选地，两块窄面水冷铜板 3、4 上口宽度与下口宽度之比为 1.0~1.05。

5 实施本发明时，首选按照本发明连铸结晶器的形状和尺寸要求，分别将两块宽面水冷铜板和两块窄面水冷铜板加工好，之后，按照宽面水冷铜板与窄面水冷铜板的位置要求，将四块水冷铜板装配在一起，即成为本发明所述的连铸结晶器。

10 需要注意的是，以上所述的，仅为本发明的较佳实施方式之一，并非用以限定本发明的范围，即凡是依据本发明申请的权利要求书及说明书内容所作的简单、等效变化与修饰，皆落入本发明专利的保护范围。

说明书附图

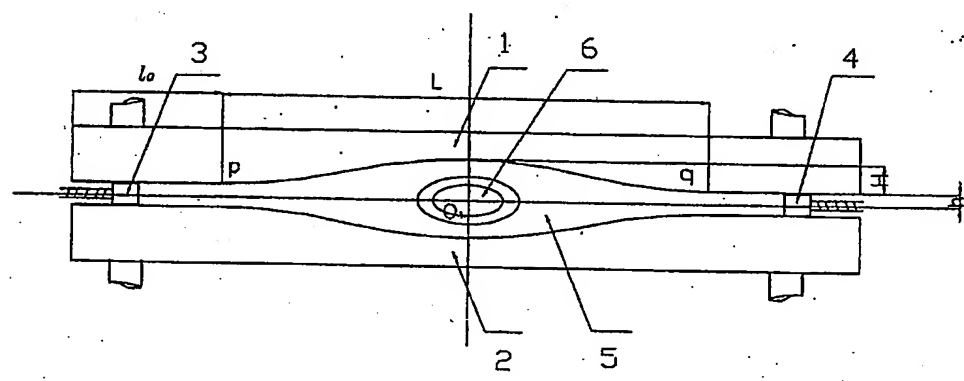


图 1

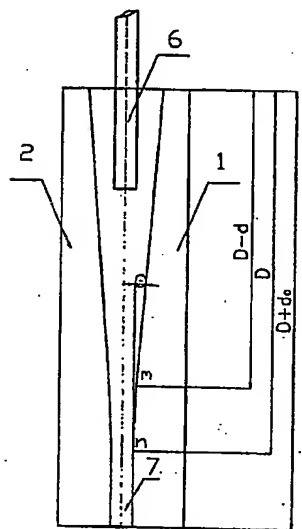


图 2

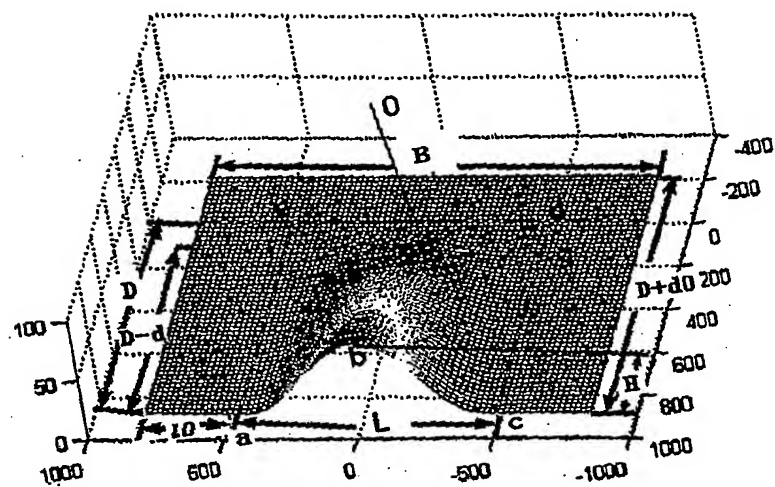


图 3

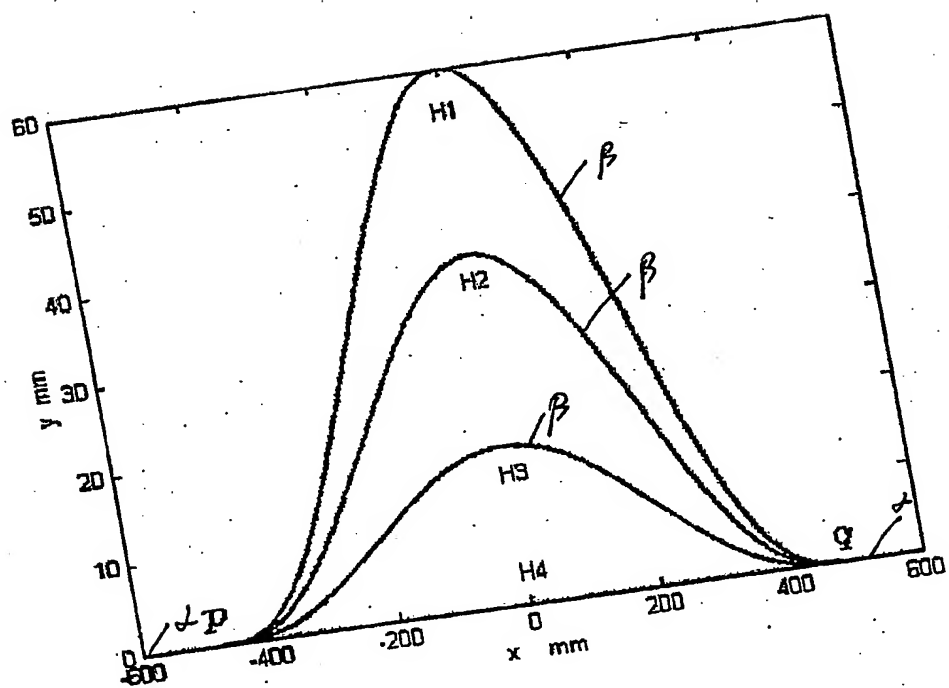


图 4

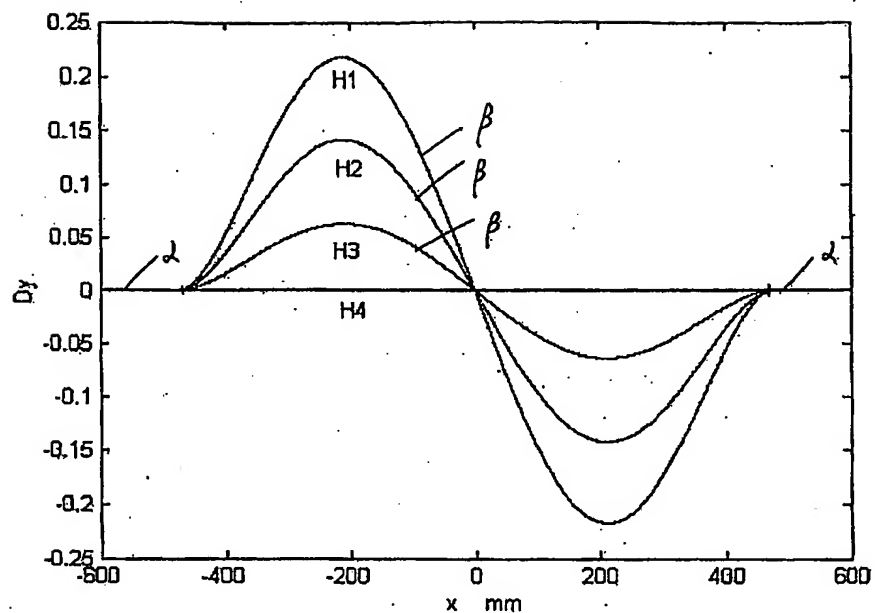


图 5

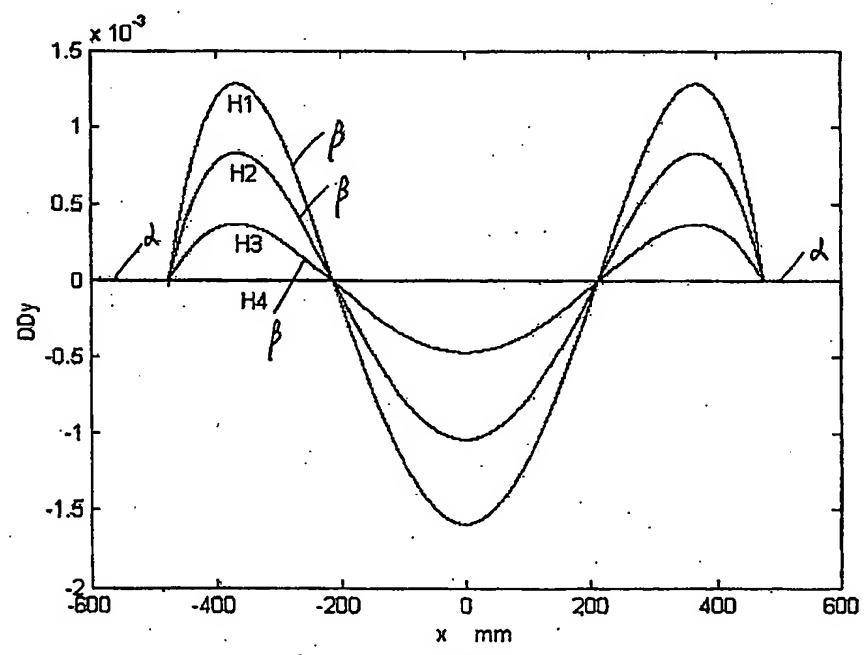


图 6

19

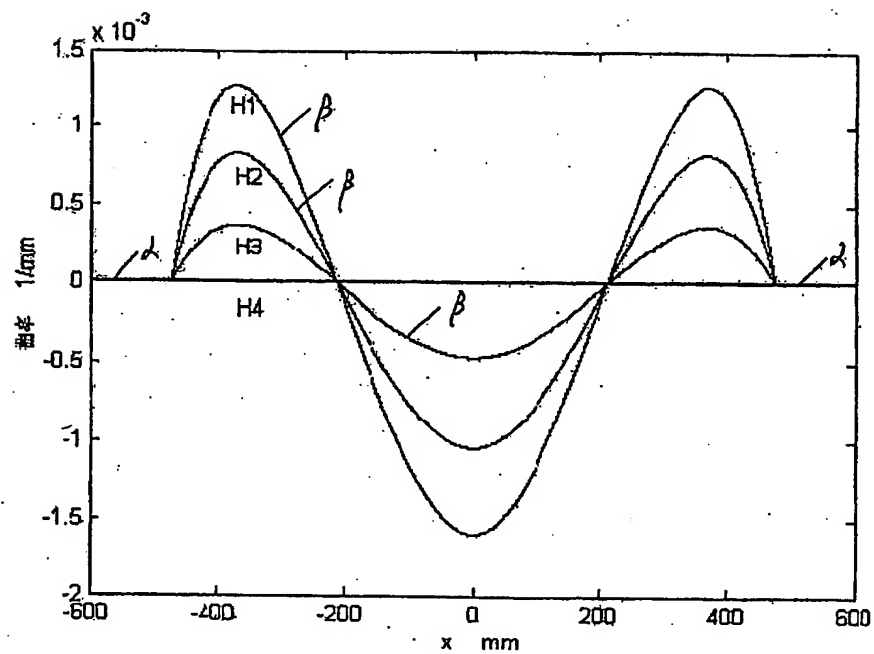


图 7

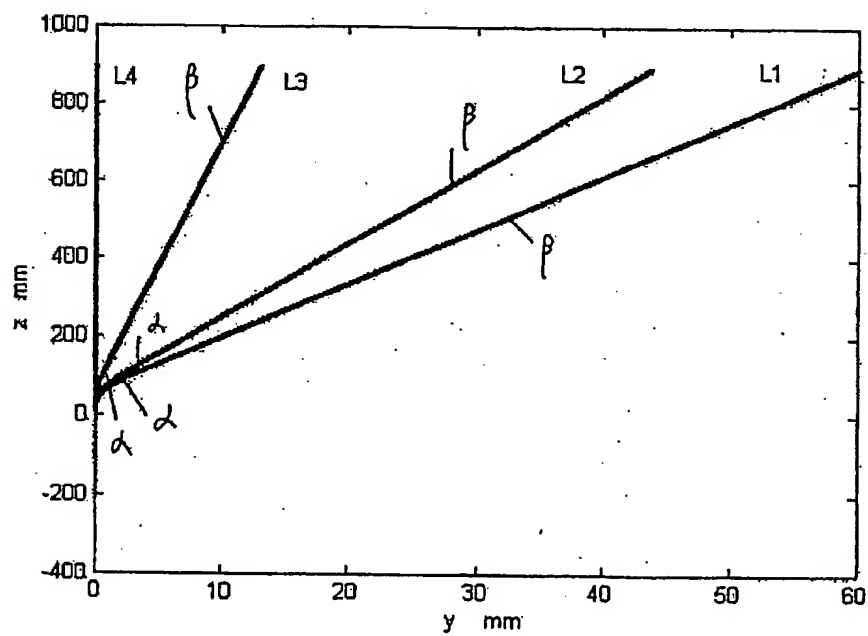


图 8

2p

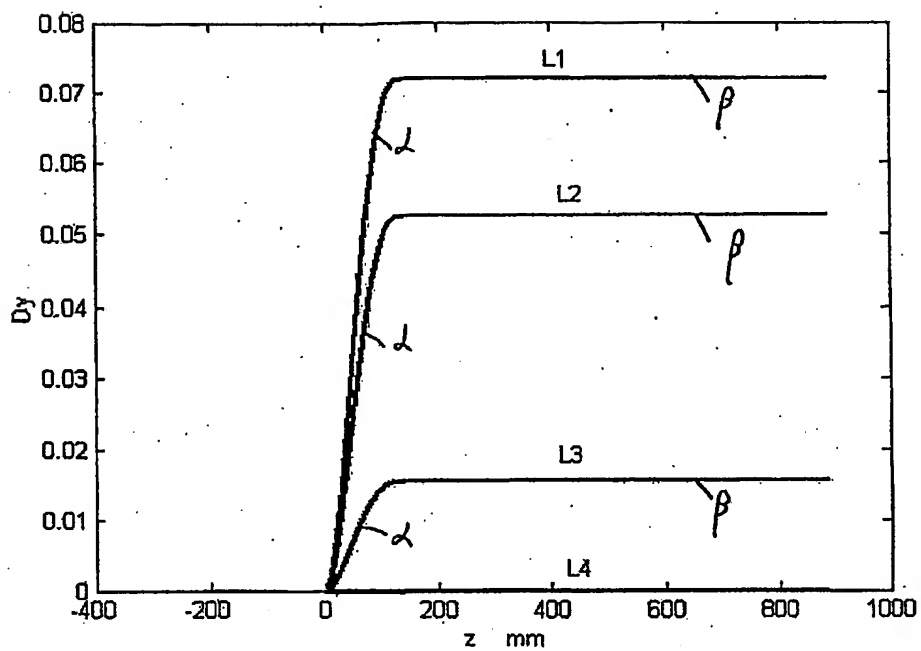


图 9

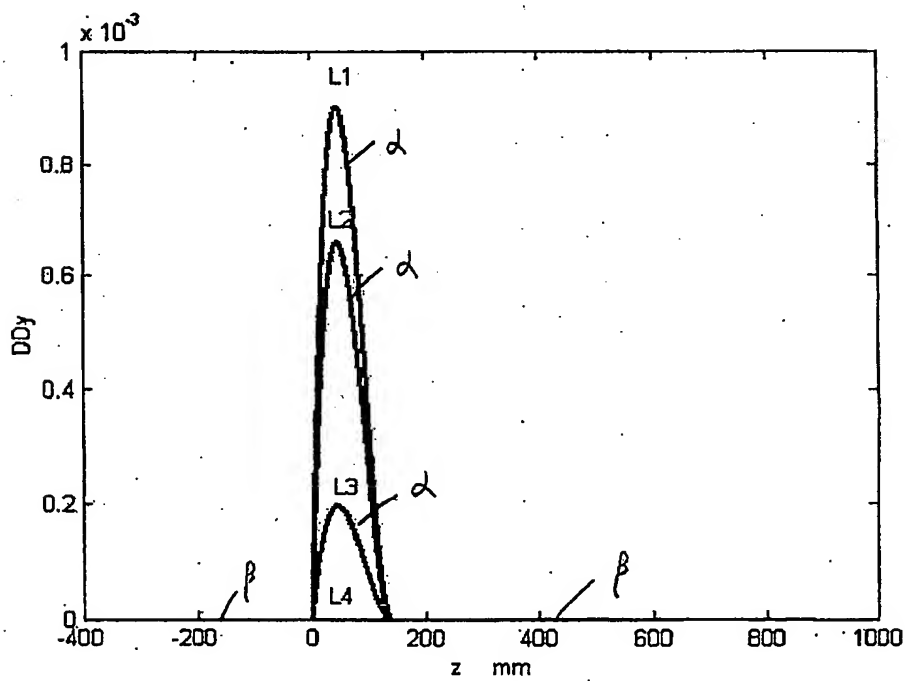


图 10

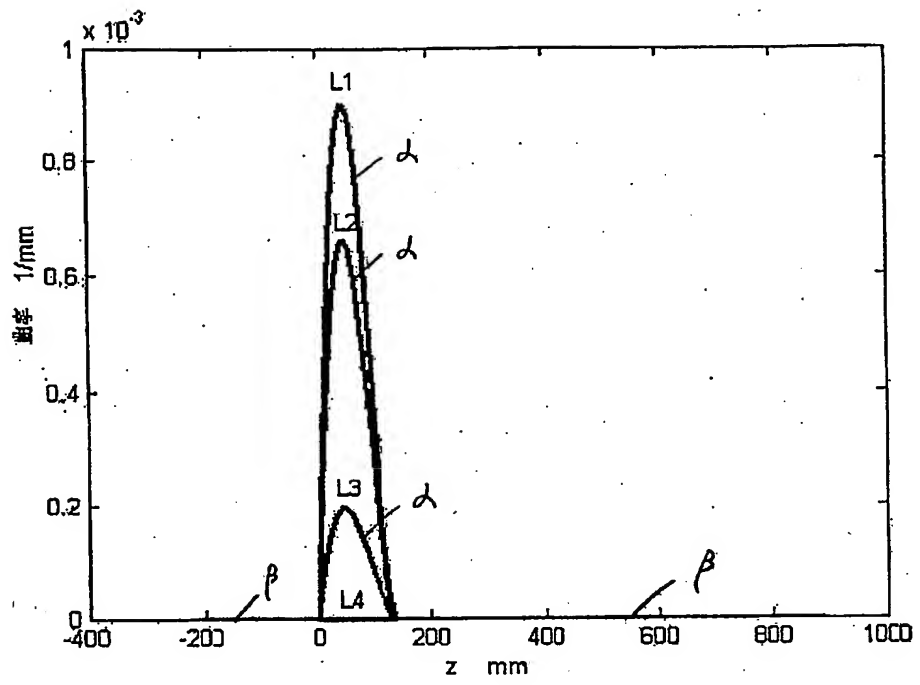


图 11

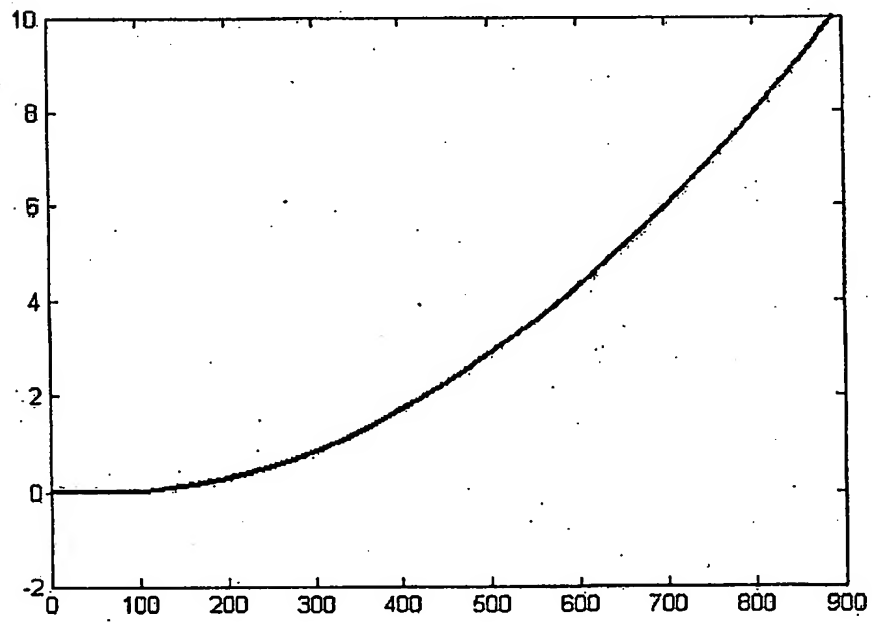


图 12

22

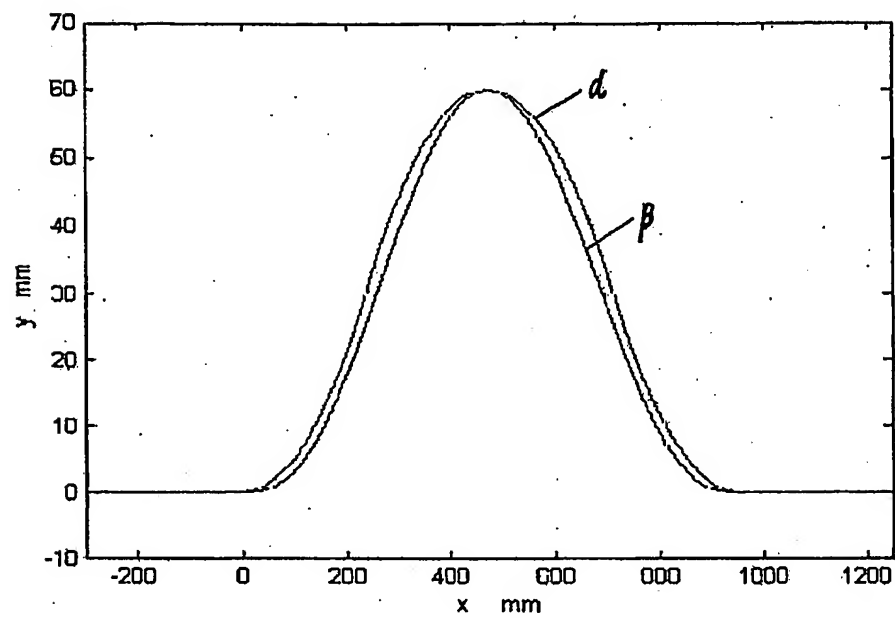


图 13

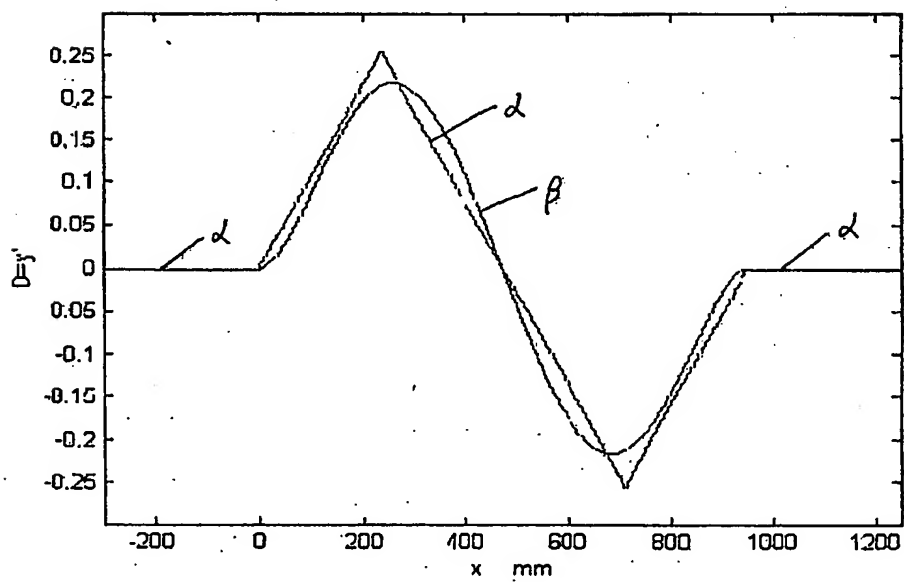


图 14

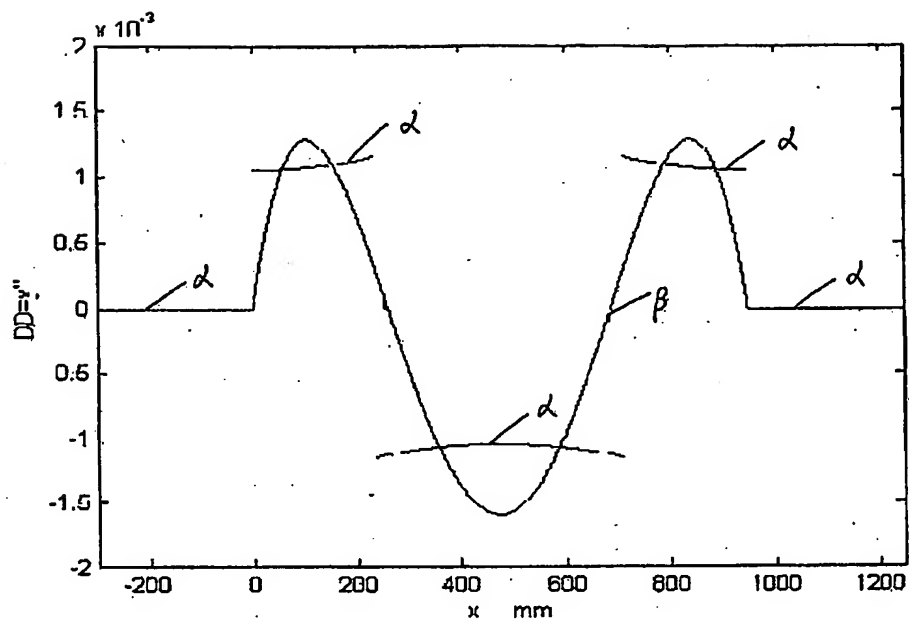


图 15

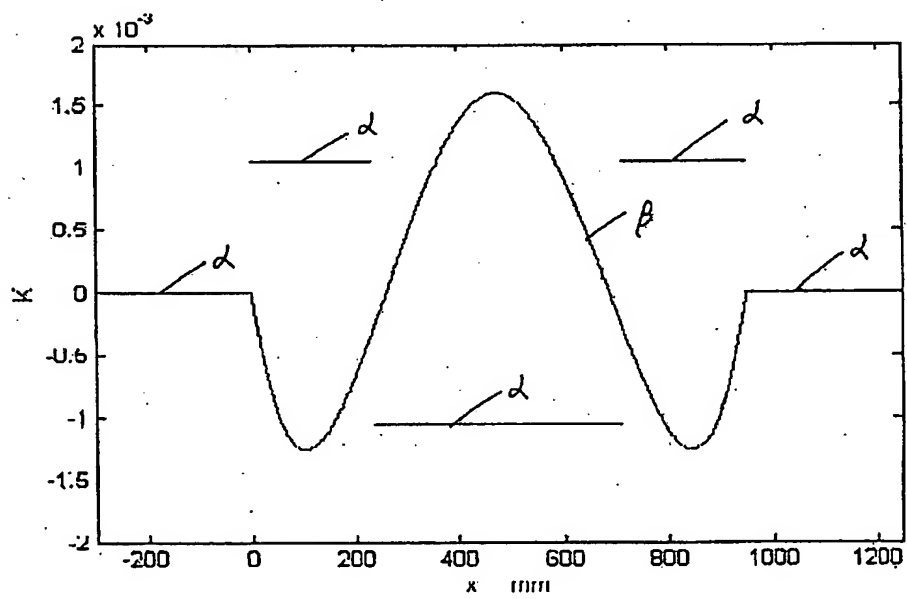


图 16

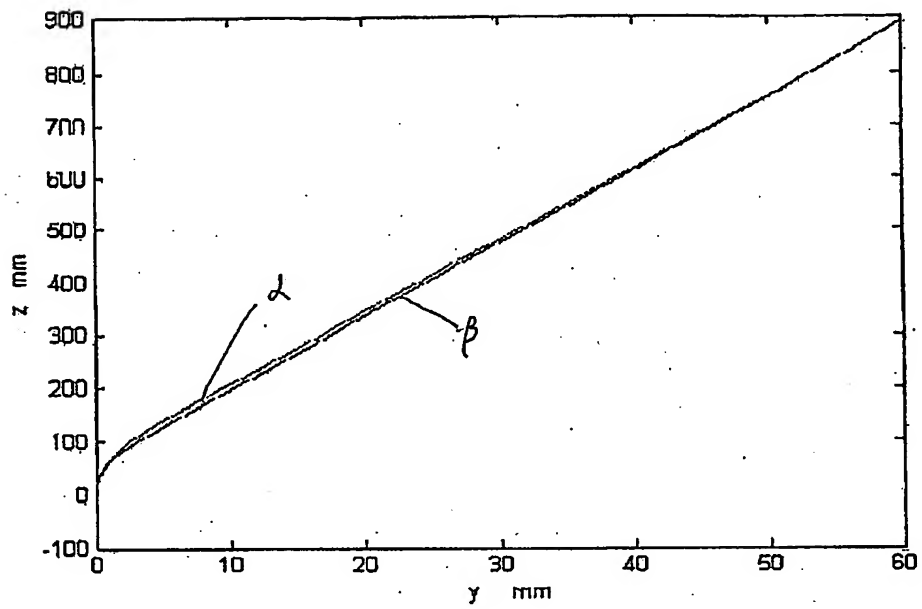


图 17

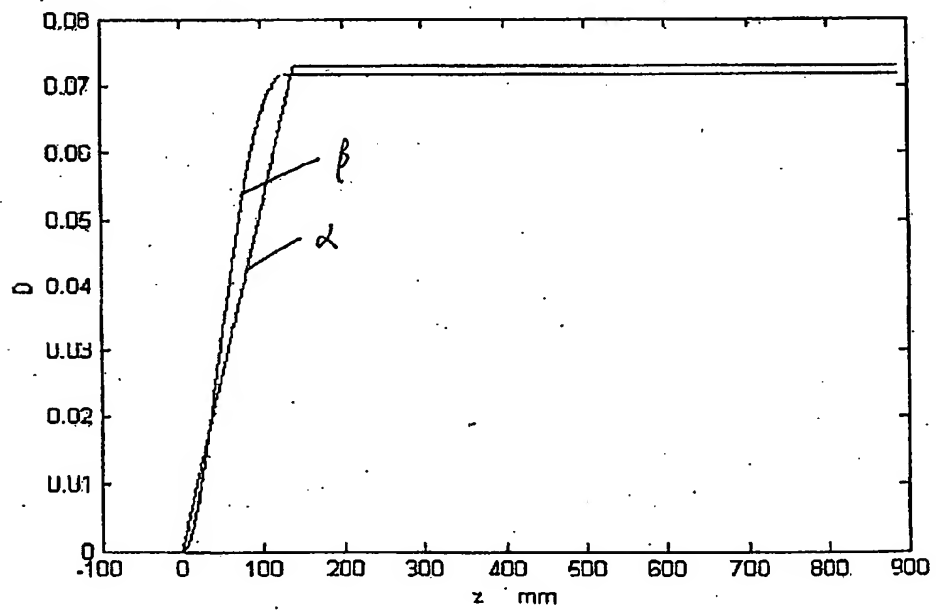


图 18

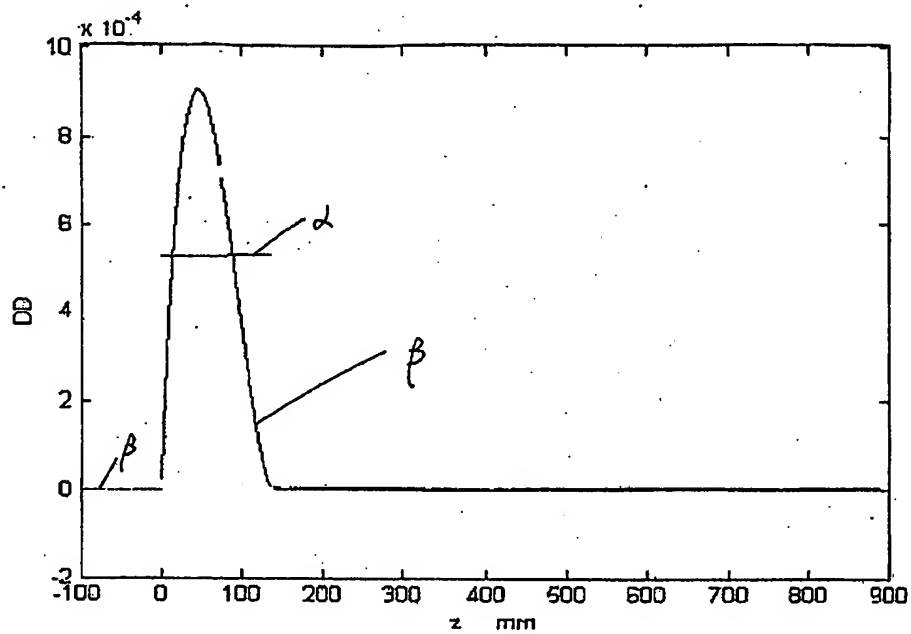


图 19

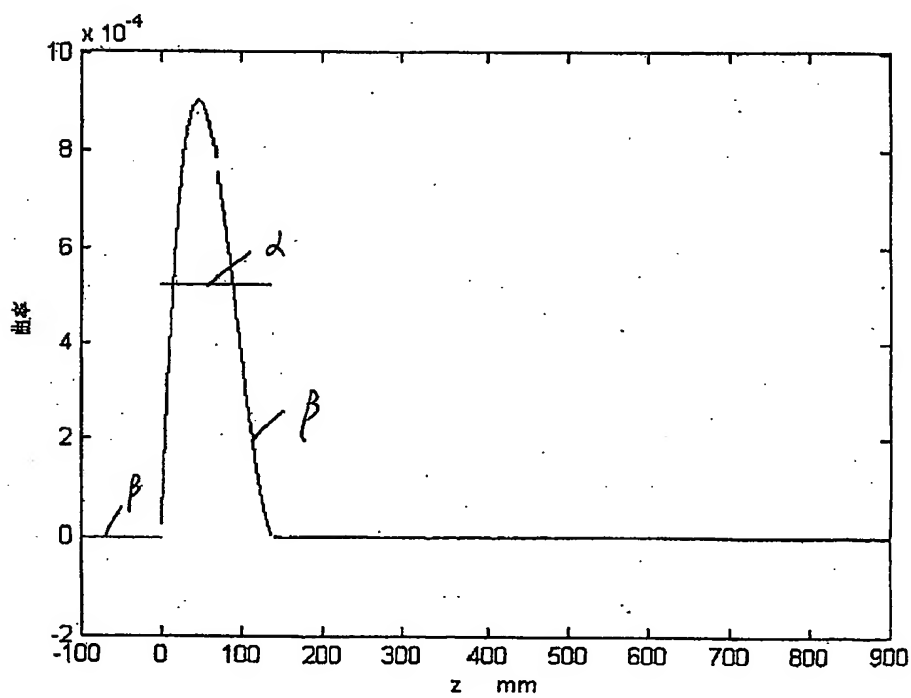


图 20

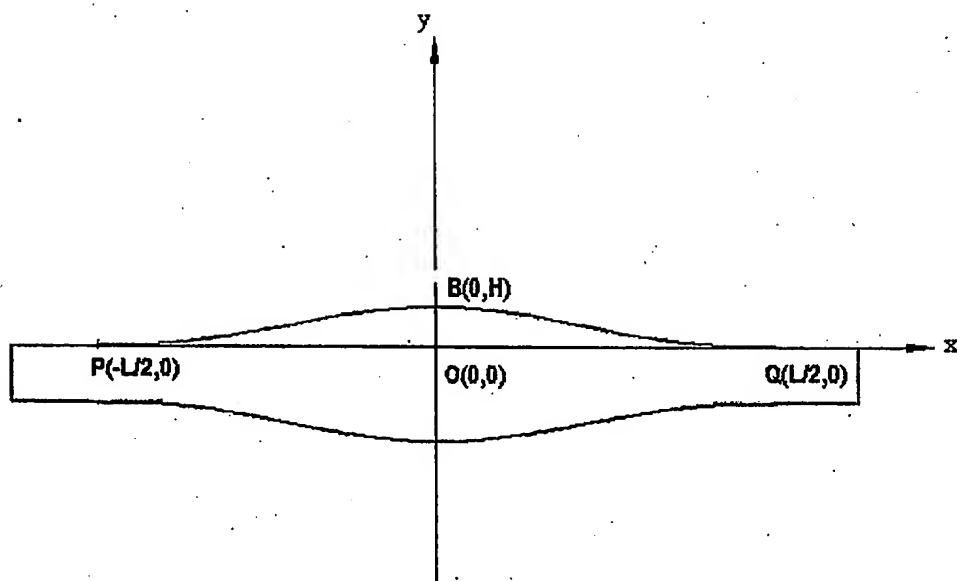


图 21

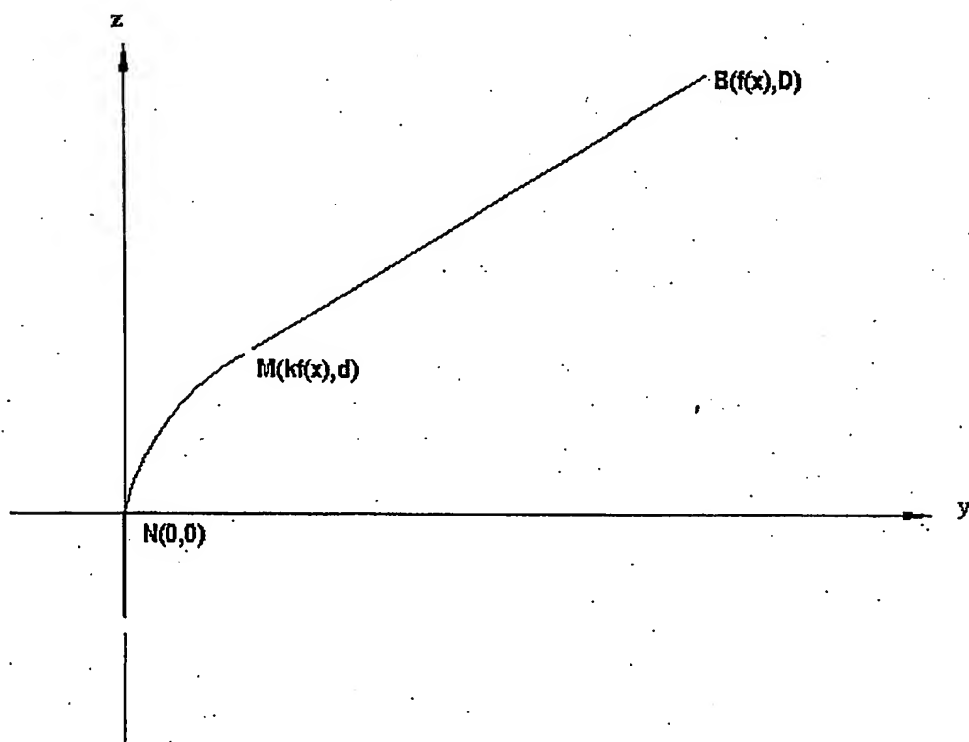


图 22

27

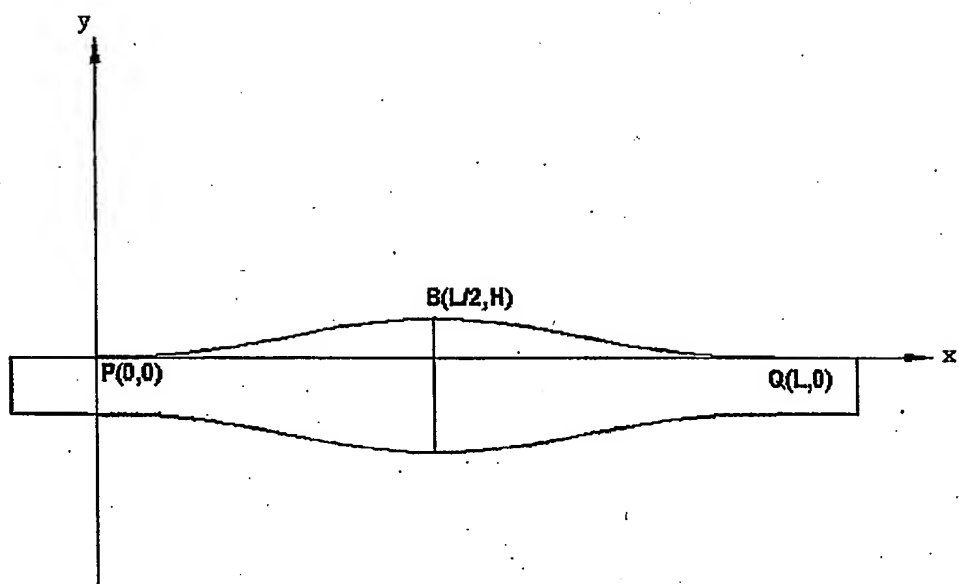


图 23